

# 实验13 基本运算电路设计 (P320)

电路与模拟电子技术实验

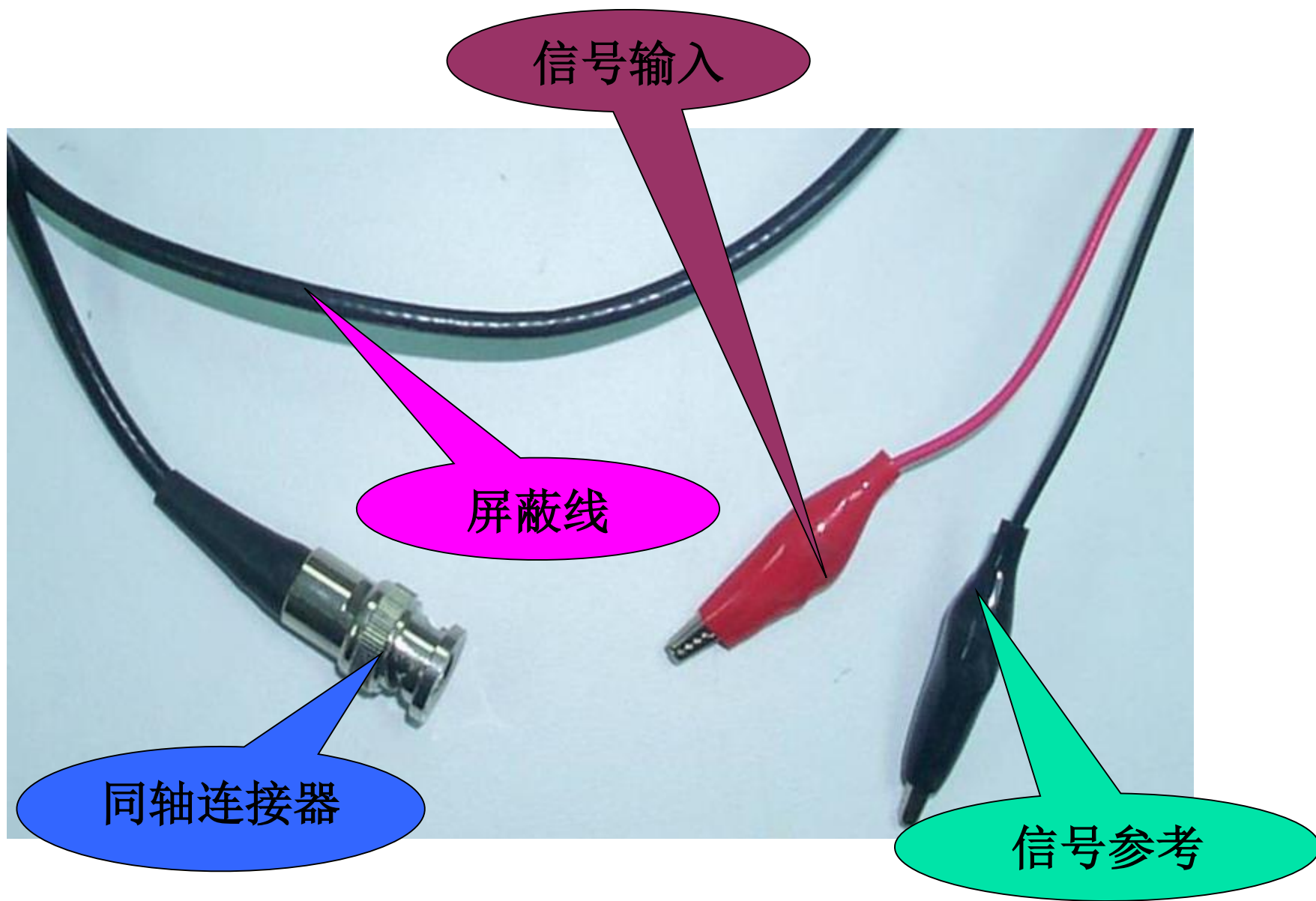
# 实验目的

1. 掌握集成运放组成的比例、加法和积分等基本运算电路的设计。
2. 掌握基本运算电路的调试和测量方法。
3. 学习集成运算放大器的实际应用。

# 实验设备

1. 信号源
2. 示波器
3. 实验箱
4. 万用表

## 相关知识（测量线）



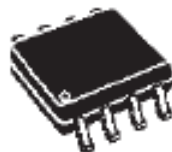
## 相关知识（集成运放介绍）

集成运算放大电路（简称集成运放）是一种高增益的直流放大器，它有二个输入端。根据输入电路的不同，有同相输入、反相输入和差动输入三种方式。在实际运用中都必须用外接负反馈网络构成闭环，用以实现各种模拟运算。

## 相关知识（ $\mu$ A741引脚封装）

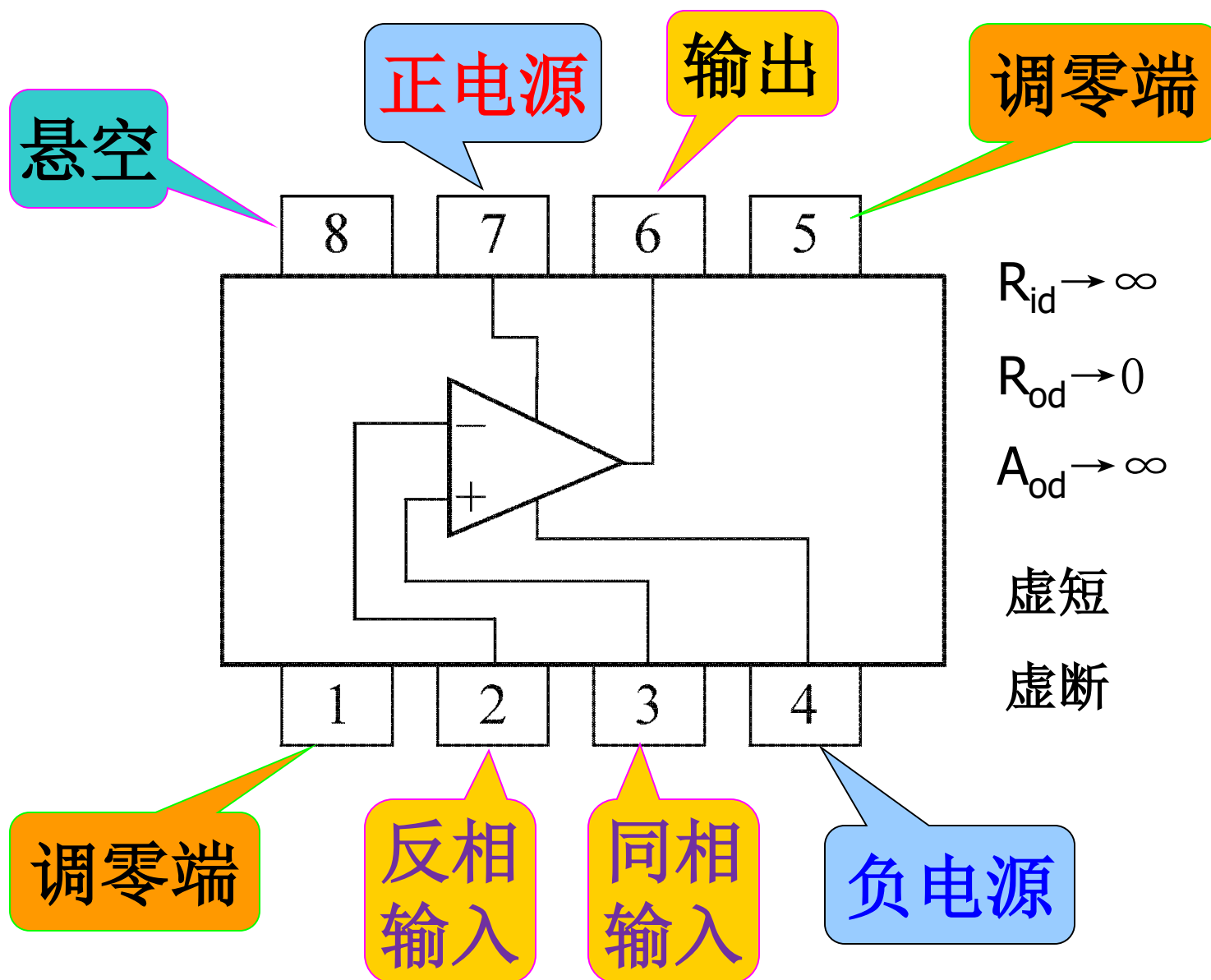


N  
DIP8  
(Plastic Package)

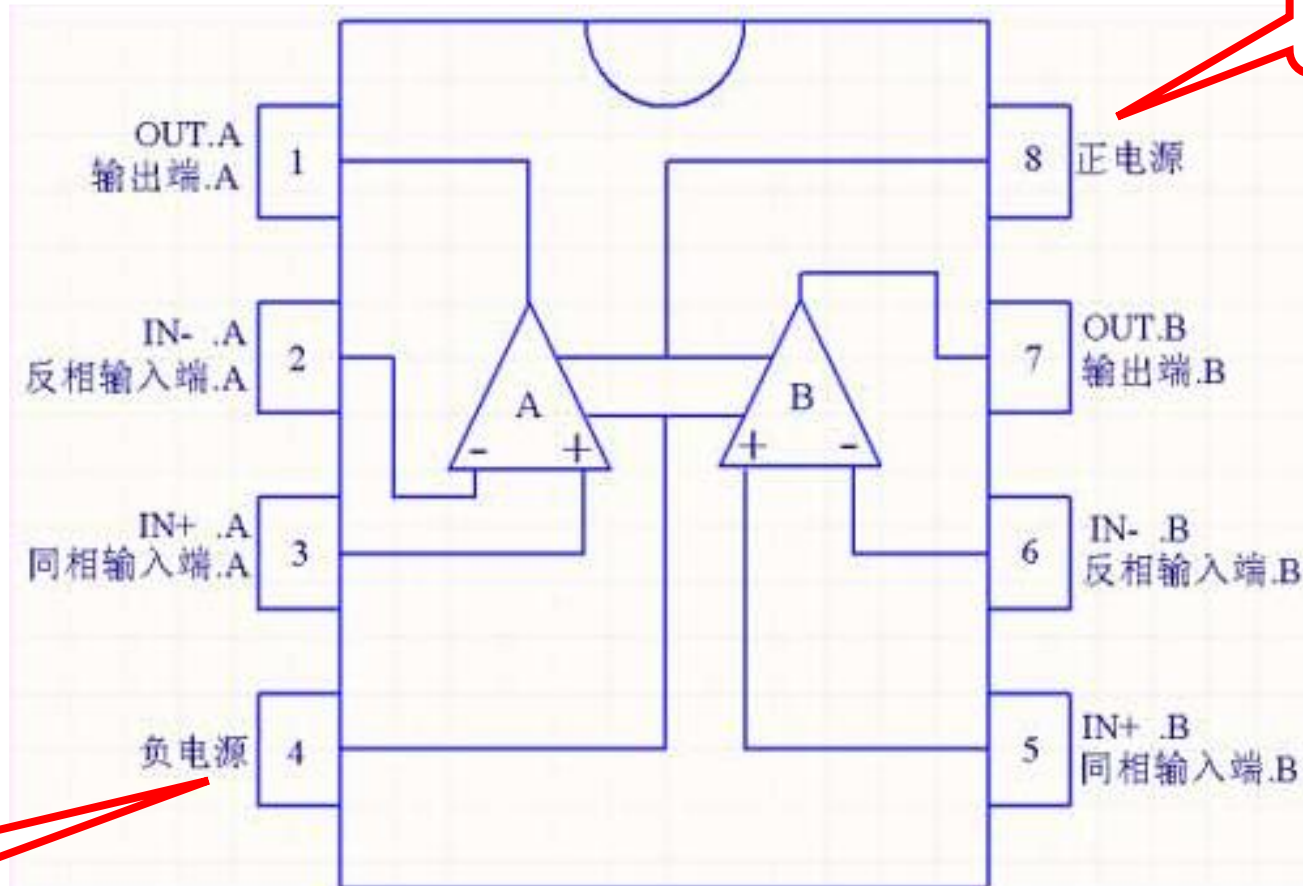


D  
SO8  
(Plastic Micropackage)

# 相关知识（ $\mu A741$ 引脚排列）



# LM358引脚排列



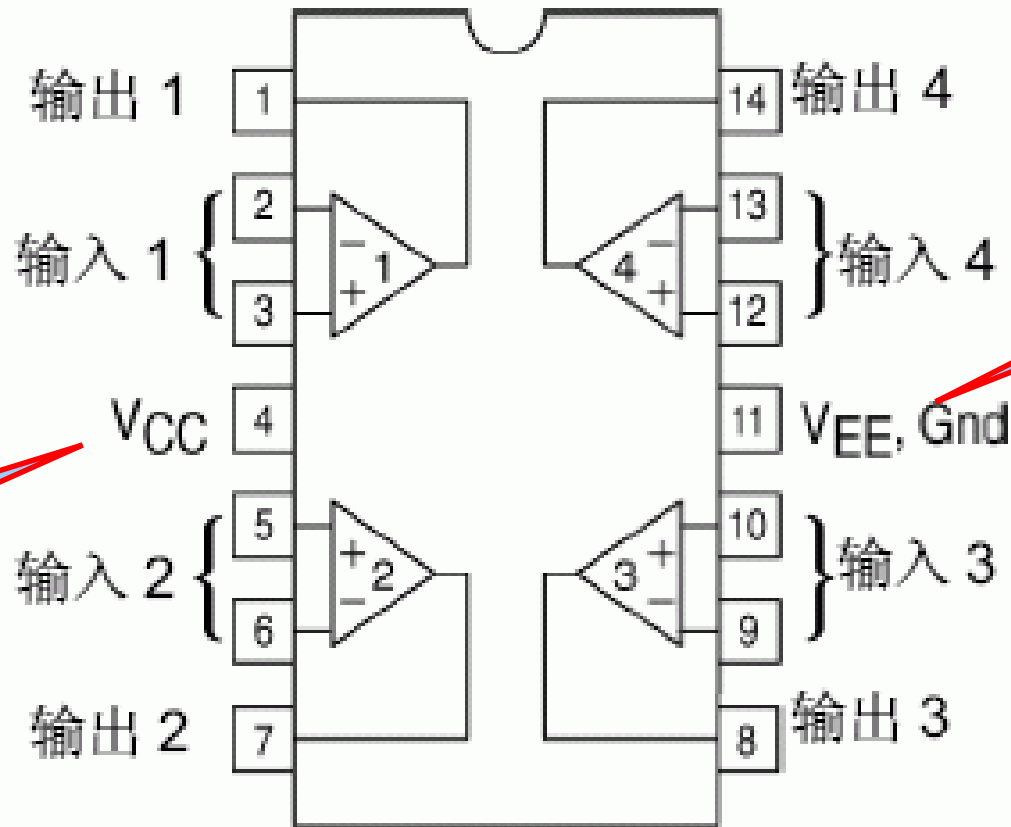
正电源

负电源



# LM324引脚排列

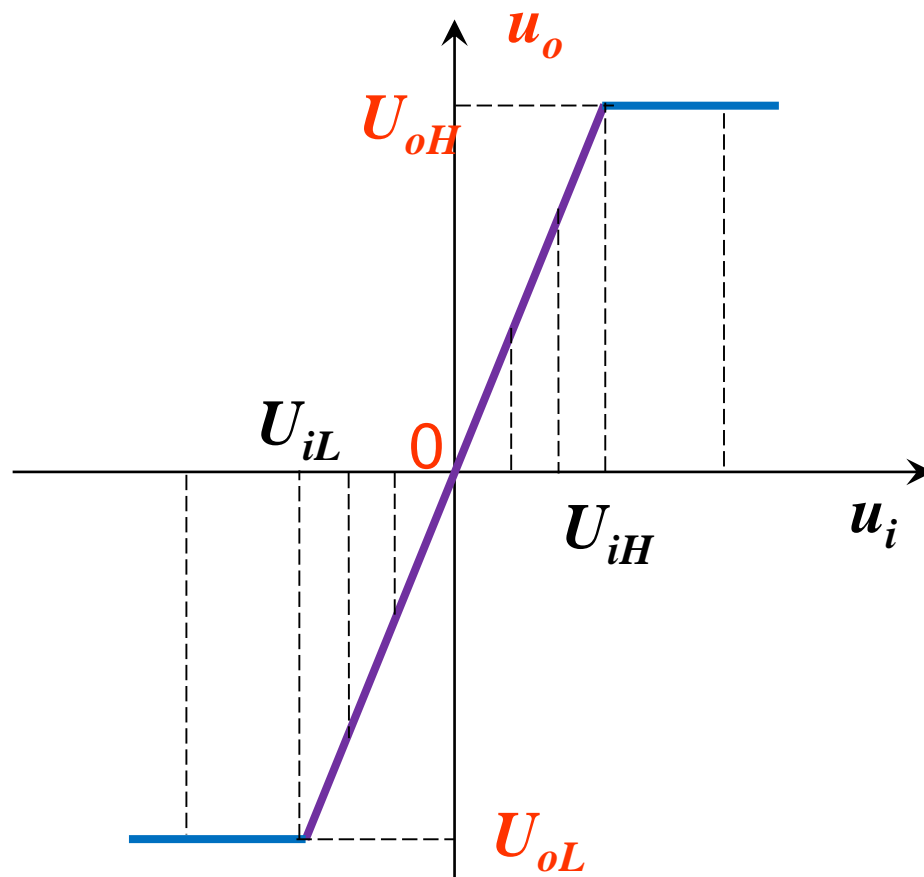
管脚连接图



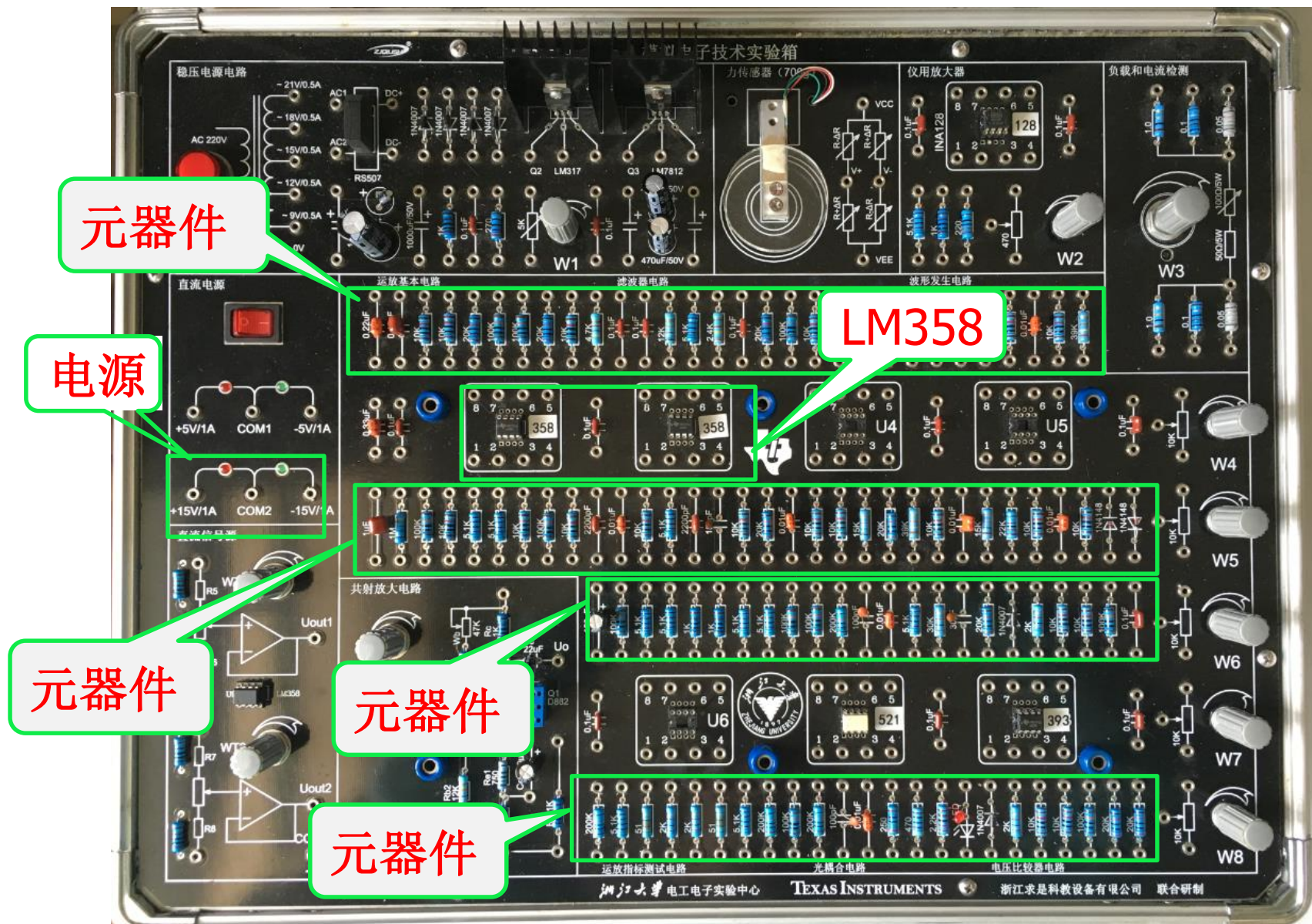
正电源

负电源

# 测量数据分布



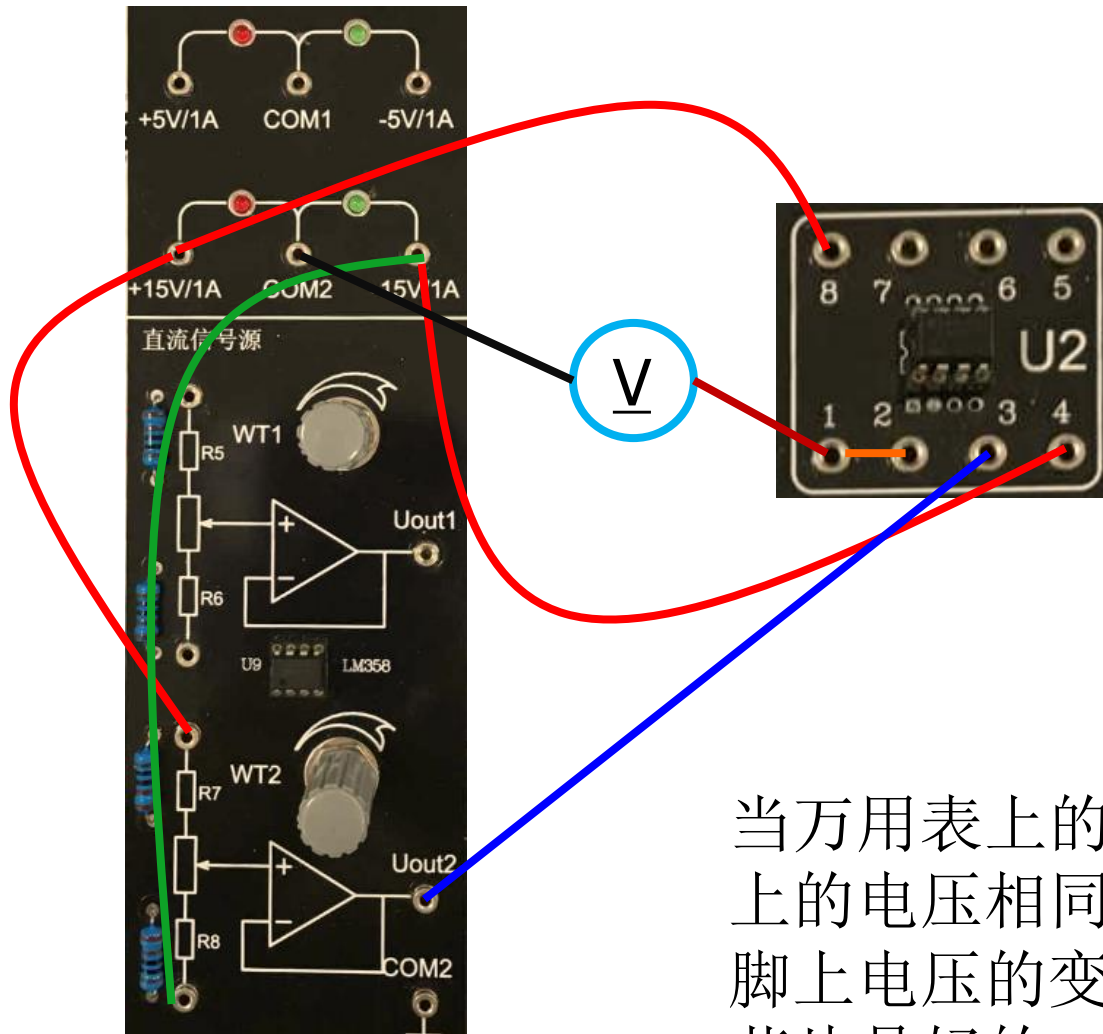
# 实验箱介绍



## 实验内容

1. 实现反相加法运算电路
2. 实现减法运算电路
3. 用积分电路将方波转换为三角波
4. 同相比例运算电路的电压传输特性曲线
5. 查看积分电路的输出轨迹（选做）
6. 用Multisim12仿真各电路（课前完成）

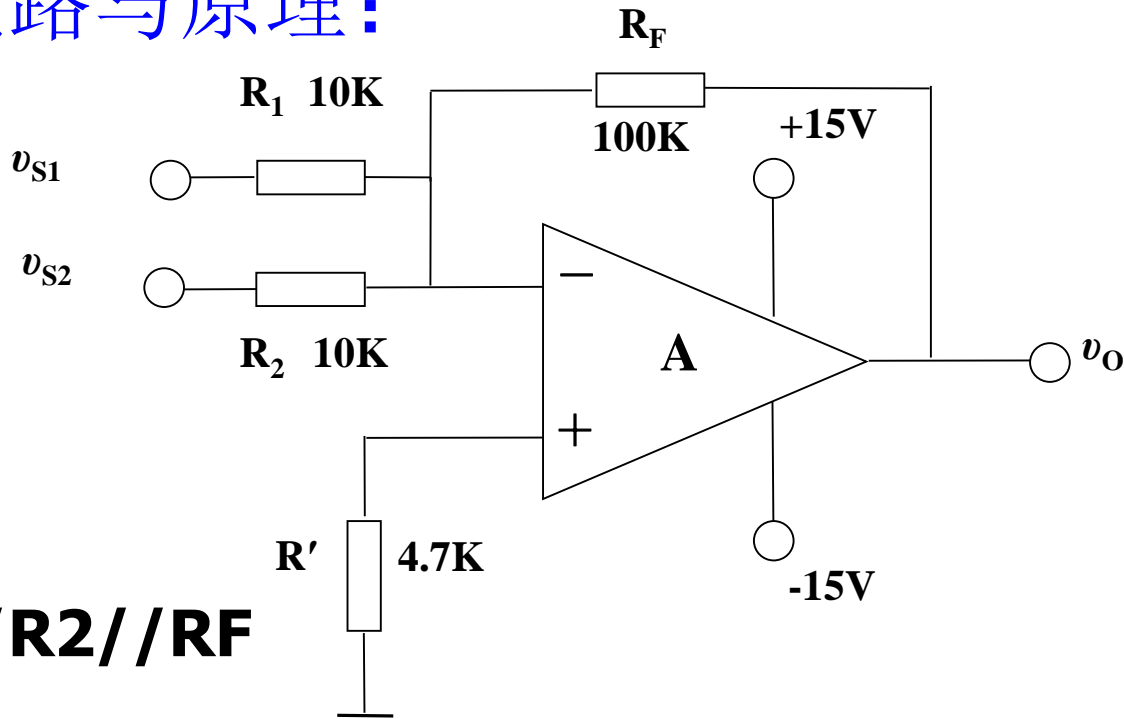
## 芯片的检查（必须检查）



当万用表上的电压和Uout2管脚上的电压相同，且会随Uout2管脚上电压的变化而变化时，表示芯片是好的。

# 1. 实现两个信号的反相加法运算

## 实验电路与原理：



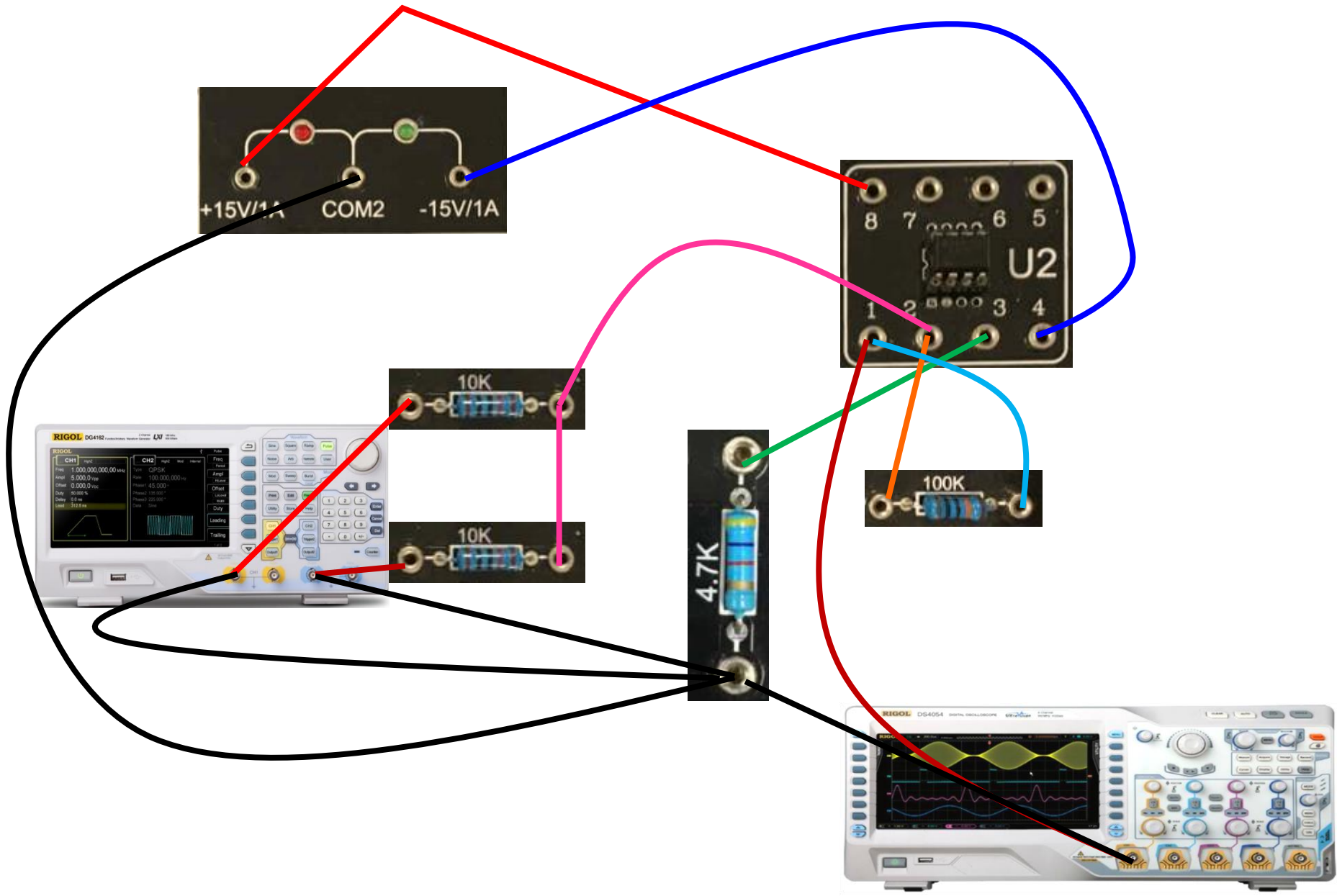
$$R' = R_1 // R_2 // R_F$$

$$v_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} v_{s1} + \frac{R_F}{R_2} v_{s2}\right)$$

电阻  $R'$  是为了消除偏置电流的影响，  
要求  $R' = R_1 // R_2 // R_f$ 。



# 实际接线图

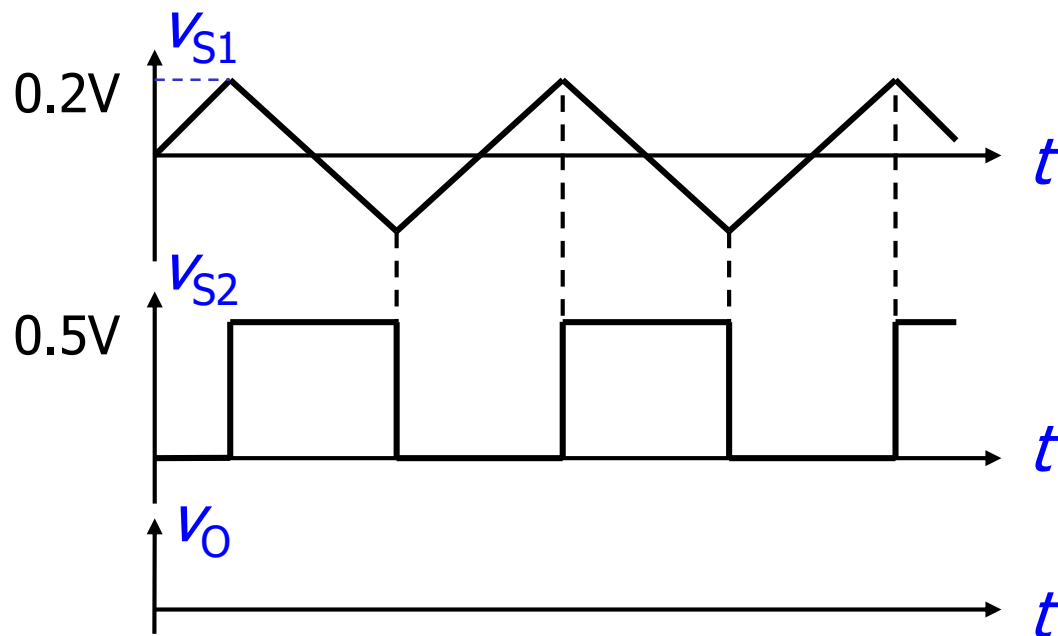


## 预习要求

- 1) 设计一个放大倍数为**10**倍的反相加法电路：

$$v_o = -10(v_{s1} + v_{s2})$$

- 2) 画出以下输入时的输出波形，并进行仿真（三角波可用VPWL，方波可用VPWL或VPULSE）。
- 3) 将仿真电路图和仿真波形写到实验预习报告中的“实验电路与原理”中。





## 实验步骤与结果记录

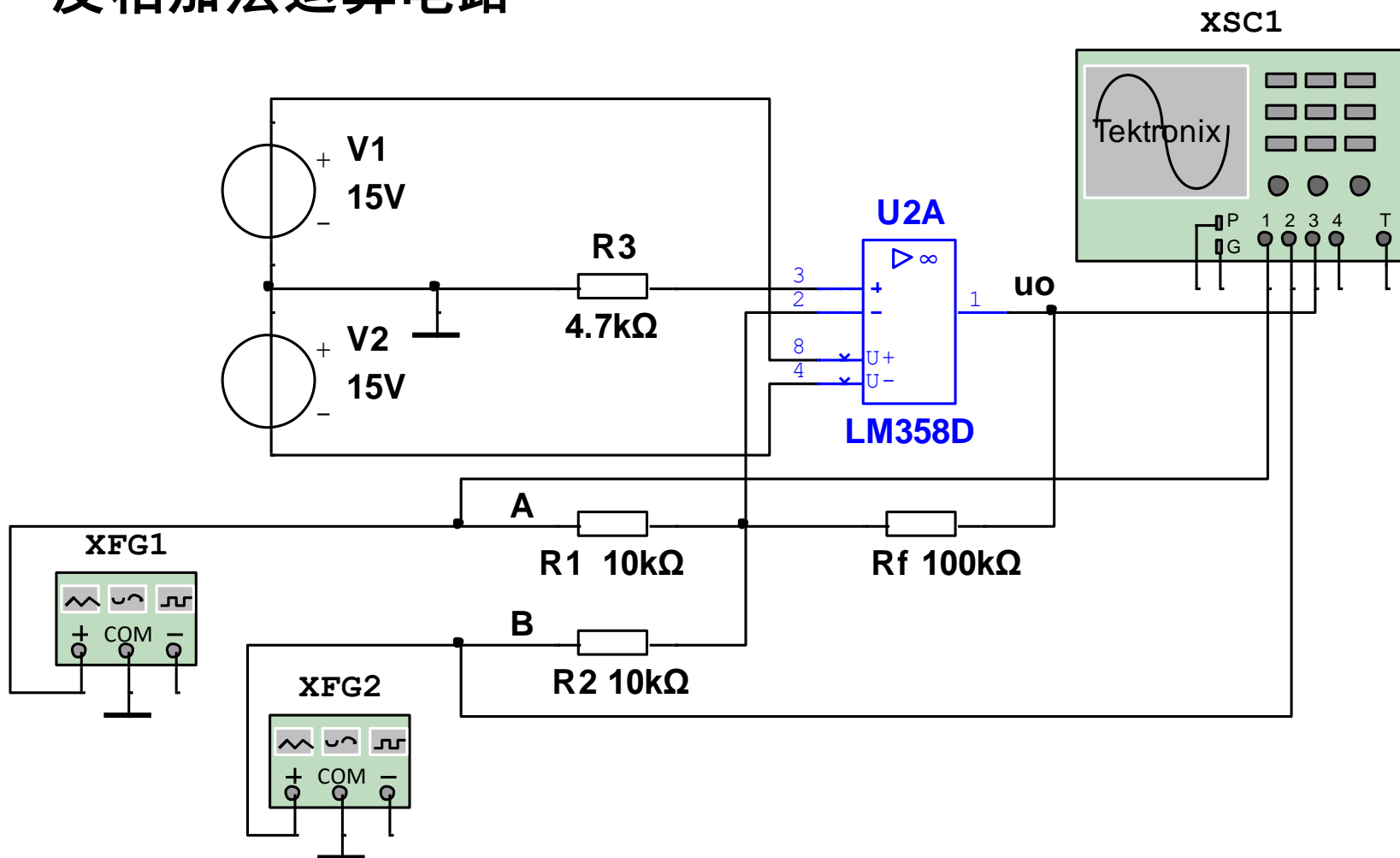
- 1) 按设计的运算电路进行连接。
- 2) 静态测试：将输入接地，测试直流输出电压。保证零输入时电路为零输出。
- 3) 调出0.2V三角波和0.5V方波（单极性），送示波器验证。
- 4)  $v_{S1}$ 输入0.2V三角波， $v_{S2}$ 输入0.5V方波（单极性），用示波器双踪观察输入和输出波形，确认电路功能正确。记录示波器波形（坐标对齐，注明幅值）。

## 实验注意事项

- 1) 在连稳压电源前，需用万用表确认电压值。
- 2) 稳压电源的地必须与电路的地相连。
- 3) 检查实验箱里的运放，选用LM358。
- 4) 平衡补偿电阻不能用电位器，可以省略。
- 5) 0.2V三角波和0.5V方波参见前页示意图。
- 6)  $v_{S1}$ 和 $v_{S2}$ 在送入运算电路之前，应先直接送示波器确认波形和幅值。
- 7) 对于三角波和方波，示波器应采用DC耦合方式。
- 8) 为防止出现自激振荡和饱和失真，应用示波器监视输出电压波形。
- 9) 被加输入信号可以为直流，也可以选用正弦，方波或三角波信号。但在选取信号的频率和幅度时，应考虑运放的频响和输出幅度的限制。

仿真的时候因为信号源不能设置相位，所以和实物实验时有些区别

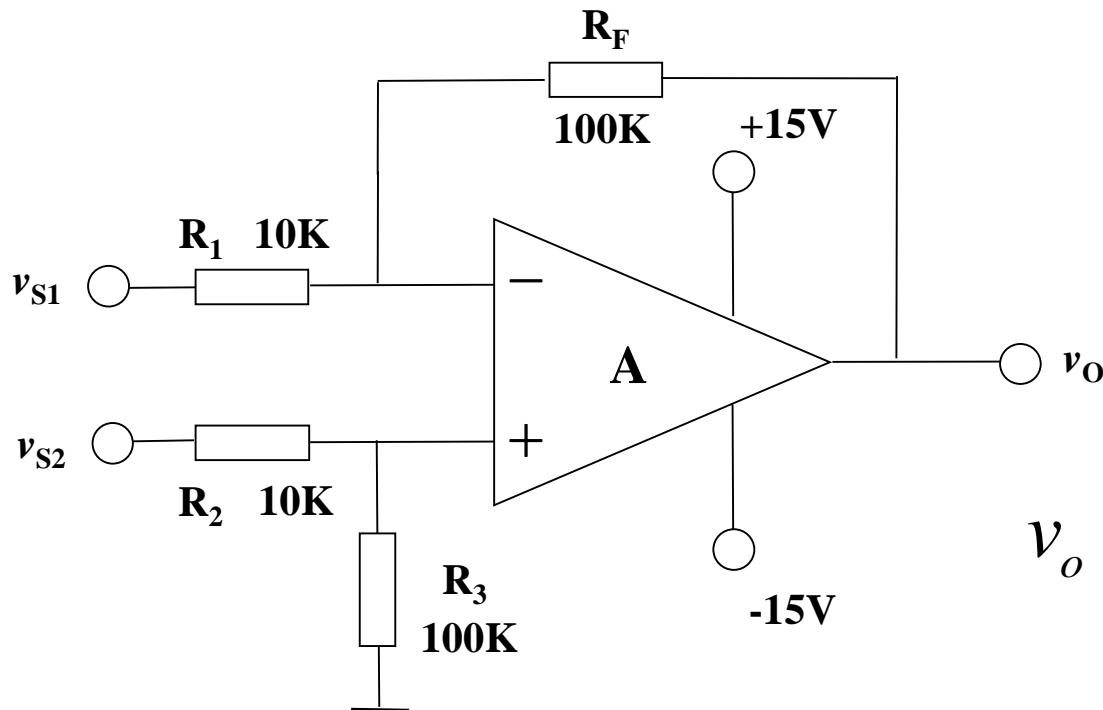
## 反相加法运算电路



## 2. 减法器（差分放大电路）

减法器电路，为了消除输入偏置电流以及输入共模成分的影响，要求 $R_1=R_2$ 、 $R_F=R_3$ 。

实验注意事项同反相加法运算实验。



$$v_o = \frac{R_F}{R_2} v_{s2} - \frac{R_F}{R_1} v_{s1}$$

减法器（差分放大电路）运算电路

## 预习要求

- 1) 设计一个放大倍数为**10**倍的减法运算电路：

$$v_o = 10(v_{s2} - v_{s1})$$

- 2) 用Multisim12对所设计的电路进行仿真（信号源采用**同相位正弦波**）。
- 3) 将仿真电路图和仿真波形写到实验预习报告中的“实验电路与原理”中。

## 实验步骤

- 1) 按设计的运算电路进行连接。
- 2) 静态测试：输入接地，保证零输入时为零输出。
- 3)  $v_{S1}$ 和 $v_{S2}$ 输入正弦波（频率和幅值？），用示波器观察输入和输出波形，确认电路功能正确。
- 4) 用示波器测量输入和输出信号幅值，记到表格中。

## 实验结果记录

将实验数据及波形填入下述表格中：

输入信号 $v_{s1}$		输入信号 $v_{s2}$		输出电压 $v_o$	
(V)		(V)		(V)	
有效值	波 形	有效值	波 形	有效值	波形

**注：**上表针对正弦波输入。若是其他信号则表项需作相应更改。

**★ 部分实验注意事项同前。**

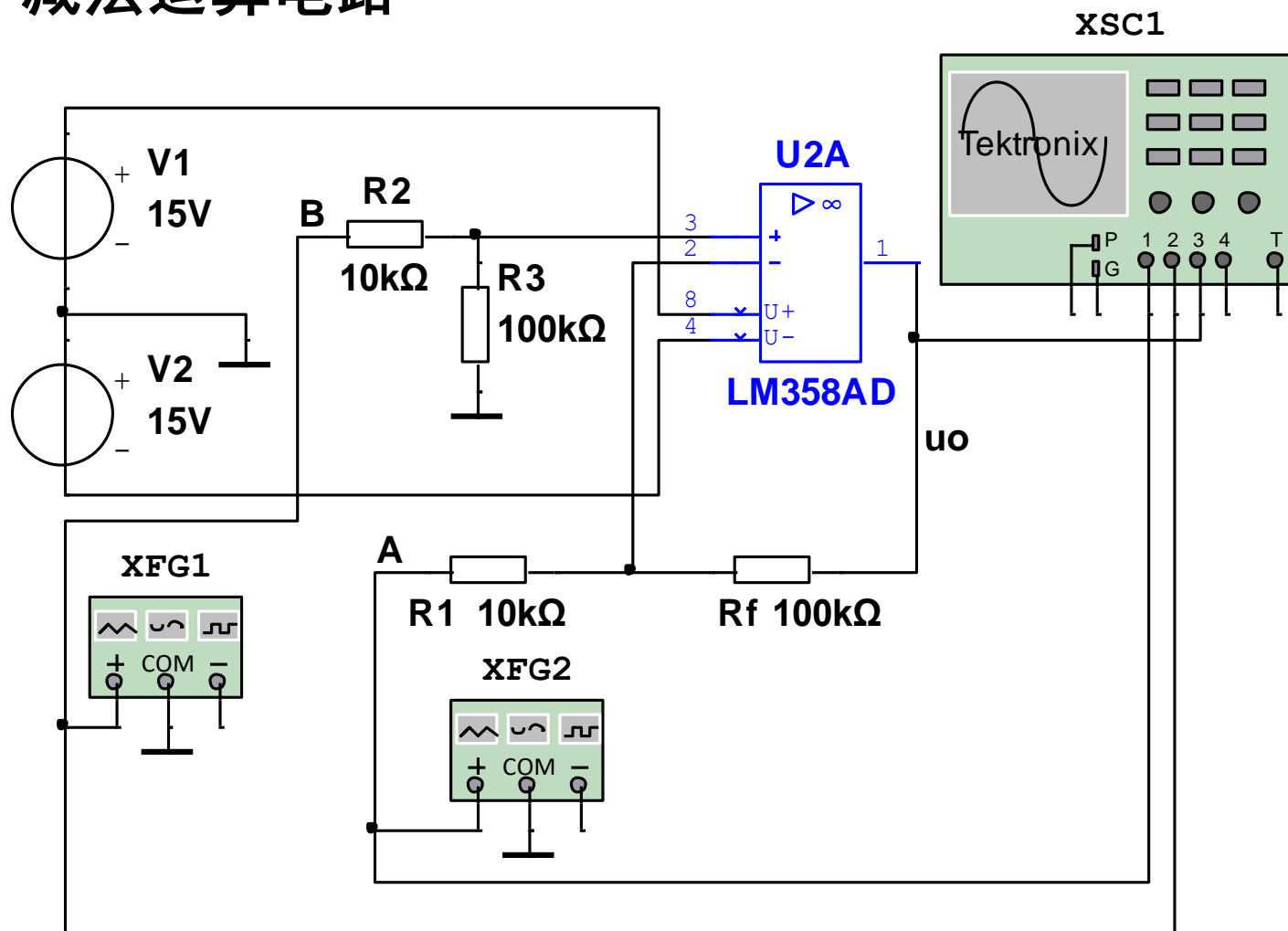
## 实验注意事项

- 1)  $v_{S1}$ 和 $v_{S2}$ 的幅值不能相同（相位相同）。
- 2) 输入信号频率的选择：应保证在运算电路的中频段内。
- 3) 输入信号幅值的选择：应保证集成运放不会进入饱和区。

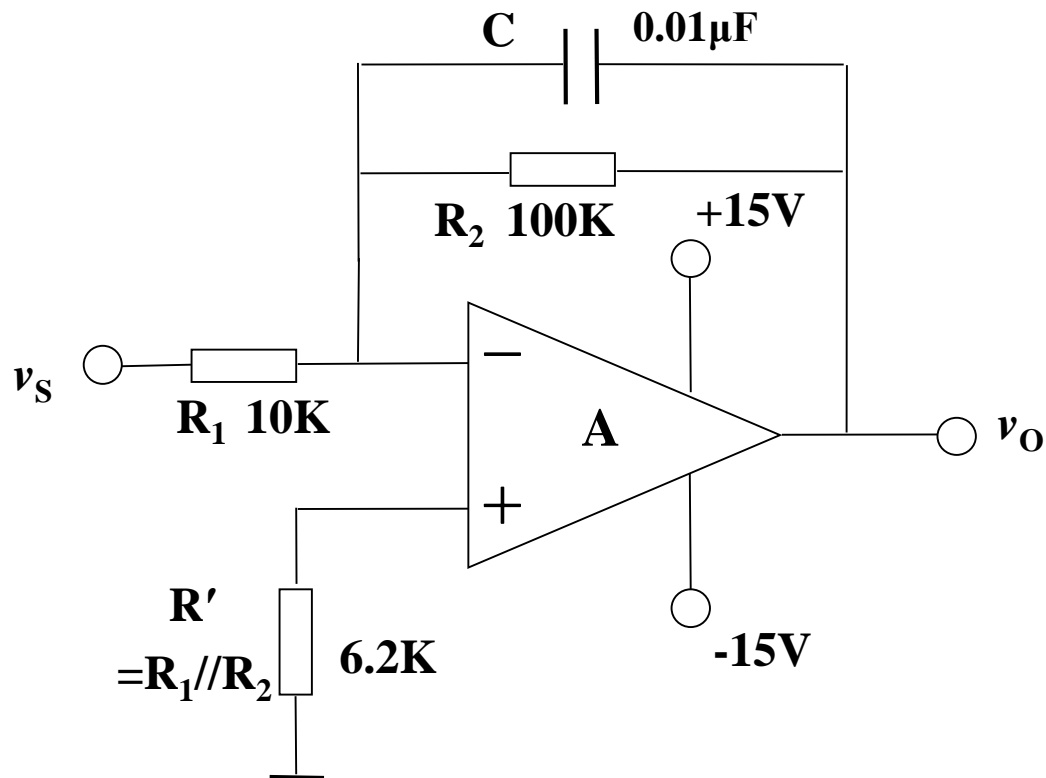


采用2个同相位的正弦波，幅度大小不相同，  
保证输出不能产生失真。

## 减法运算电路



### 3. 用积分电路转换方波为三角波



方波转换成三角波电路

# 电路原理

电路中电阻 $R_2$ 的接入是为了抑制由 $I_{IO}$ 、 $V_{IO}$ 所造成的积分漂移，从而稳定运放的输出零点。

在 $t \ll \tau_2$  ( $\tau_2 = R_2 C$ ) 的条件下，若 $v_S$ 为常数，则 $v_O$ 与 $t$ 将近似成线性关系。因此，当 $v_S$ 为方波信号并满足 $T_p \ll \tau_2$ 时 ( $T_p$ 为方波半个周期时间)，则 $v_O$ 将转变为三角波，且方波的周期越小，三角波的线性越好，但三角波的幅度将随之减小。

## 预习要求

- 1) 根据电路参数求出  $\tau_2$ ，确定三种情况下的方波信号频率：
  - ①  $T_p \ll \tau_2$
  - ②  $T_p \approx \tau_2$
  - ③  $T_p \gg \tau_2$
- 2) 分别选择上述三种不同频率的方波作为信号源，用 Multisim12 对电路进行仿真，记录输出电压波形。

## 实验步骤

- 1) 连接积分电路，加入方波信号（幅度？）。
- 2) 选择频率，使  $T_p \ll \tau_2$ ，用示波器观察输出和输入波形，记录线性情况和幅度。
- 3) 改变方波频率，使  $T_p \approx \tau_2$ ，观察并记录输出波形的线性情况和幅度的变化。
- 4) 改变方波频率，使  $T_p \gg \tau_2$ ，观察并记录输出波形的线性情况和幅度的变化。

## 实验结果记录

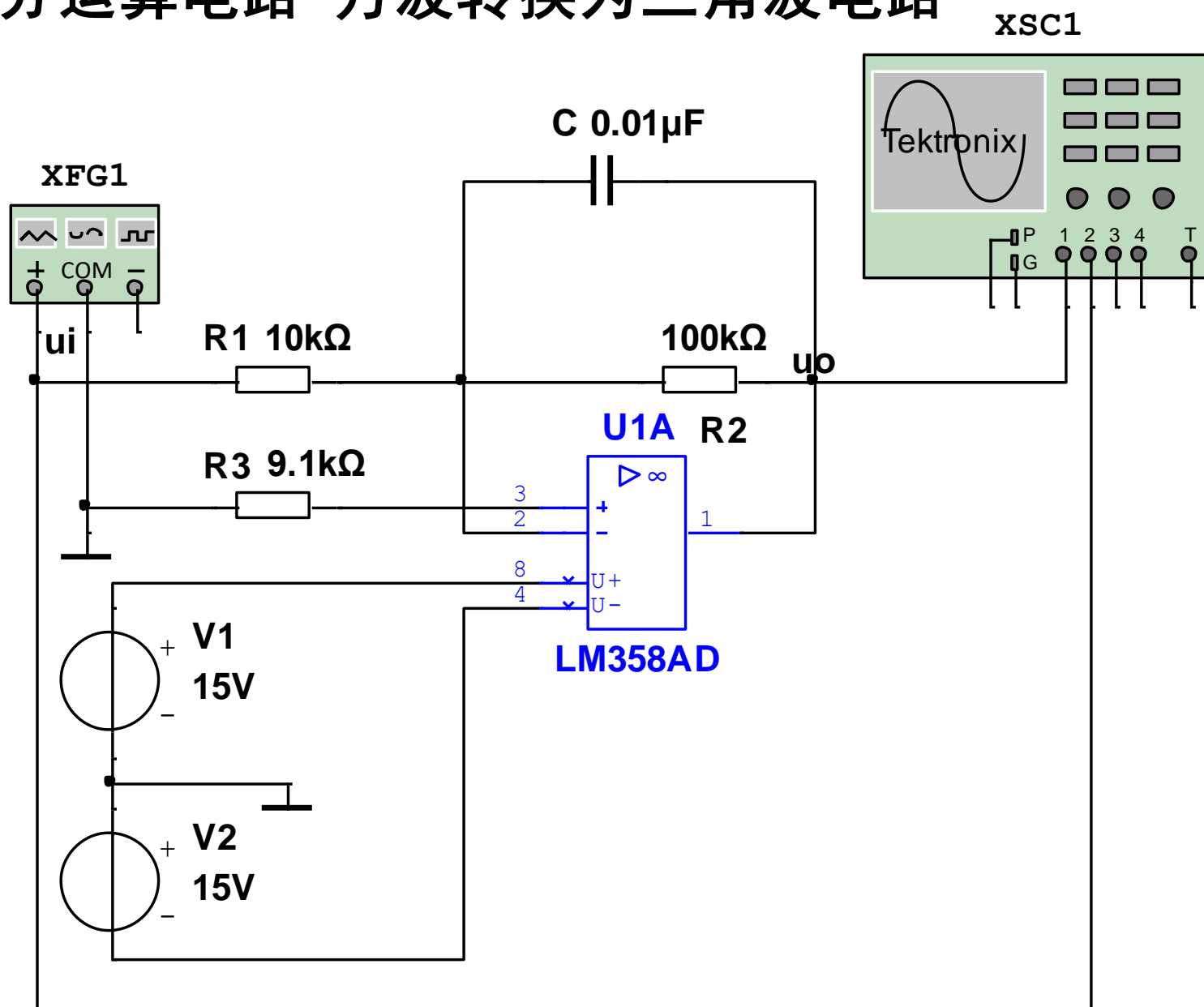
接三种情况加入方波信号，用示波器观察输出和输入波形，记录线性情况和幅度的变化。

- $T_p \ll \tau_2$
- $T_p \approx \tau_2$
- $T_p \gg \tau_2$

$v_s$ 周期	$v_s$ 幅度值	$v_o$ 线性情况	$v_o$ 幅度值

注：表中“线性情况”填写“很好、较差、畸变”等。

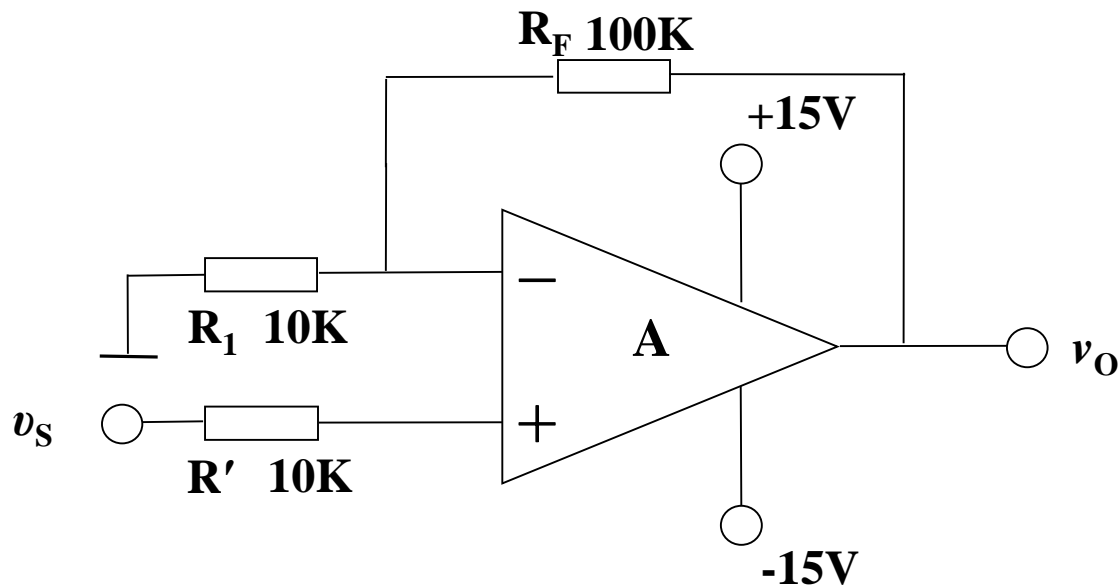
# 积分运算电路-方波转换为三角波电路



#### 4. 同相比例运算电路（电压传输特性曲线）

同相比例运算电路同反相加法运算电路，其特点是输入电阻比较大，电阻 $R'$ 的接入同样是为了消除平均偏置电流的影响，故要求  $R'=R_1//R_F$ 。

实验注意事项同反相加法运算实验。



$$v_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)v_s$$

同相比例运算电路



## 电路原理

电压传输特性曲线是表征输入与输出之间的关系曲线，即  $v_O = f(v_S)$ 。

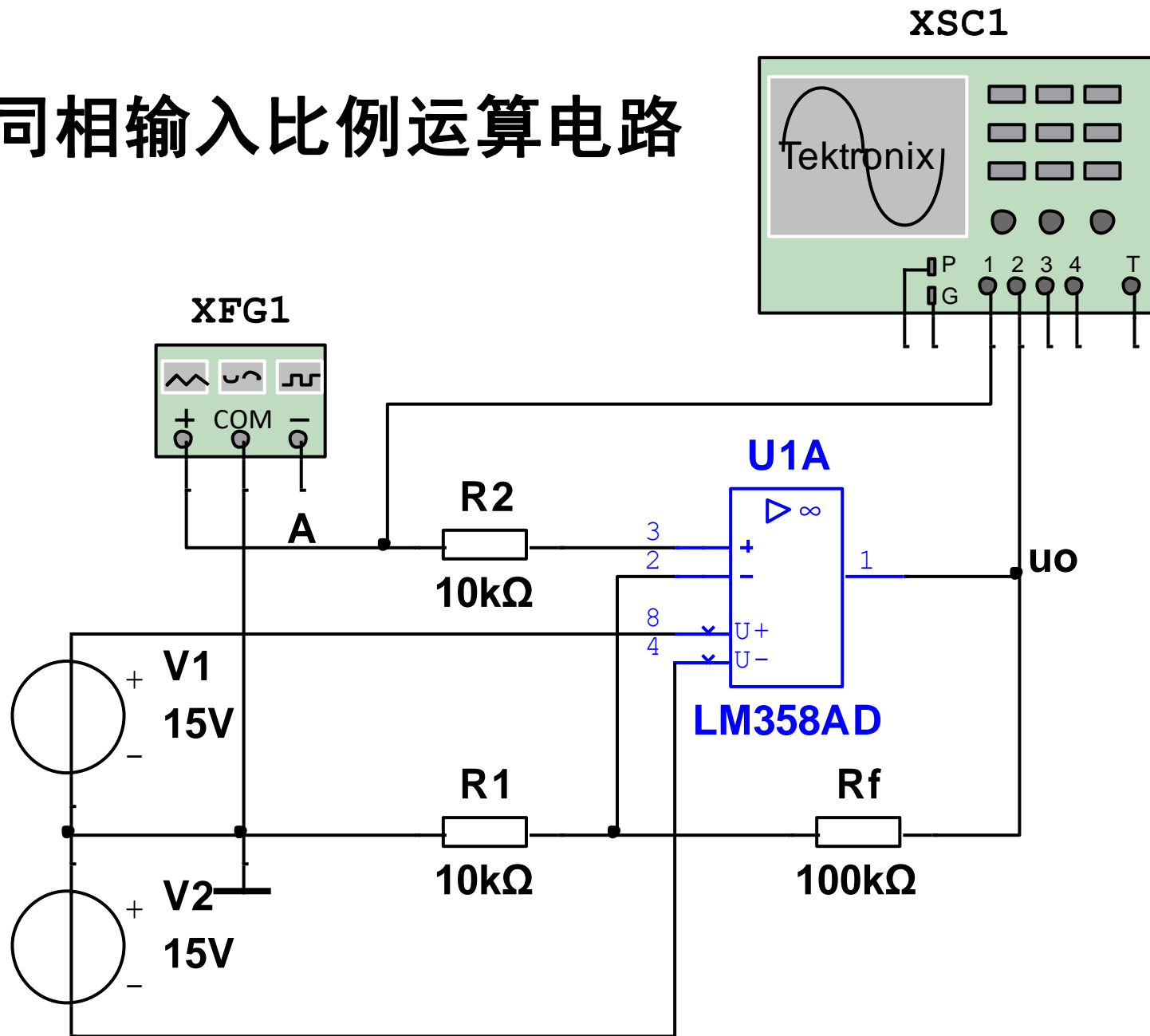
同相比例运算电路是由集成运放组成的同相放大电路，其输出与输入成比例关系，但输出信号的大小受集成运放的最大输出电压幅度的限制，因此输出与输入只在一定范围内是保持线性关系的。

## 实验步骤与结果记录

- 1) 连接同相比例运算电路。
- 2) 静态测试：输入接地，保证零输入时为零输出。
- 3) 加入正弦波，用示波器观察输入和输出波形，验证电路功能。
- 4) 用示波器测出电压传输特性：示波器选择XY显示模式，选择适合的按钮设置。
- 5) 适当增大输入信号，使示波器显示整个电压传输特性曲线（即包含线性放大区和饱和区）。

注意：集成运放的电压传输特性是在直流或低频条件下的输入输出关系。

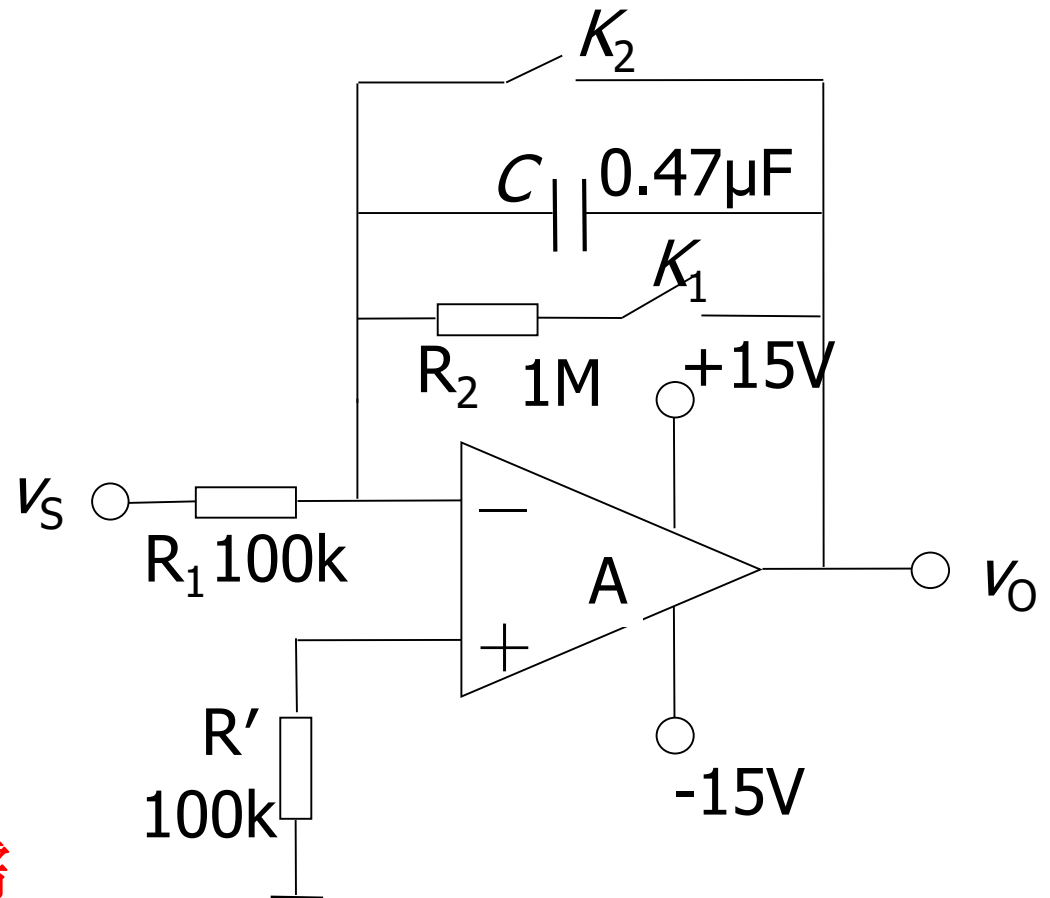
# 同相输入比例运算电路



## 5. 查看积分电路的输出轨迹（选做）

实验电路：

$$\begin{aligned} V_0 &= -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_s dt \\ &= -\frac{V_s t}{R_1 C} \end{aligned}$$



注意：用电解电容的话需要注意电容极性。

## 电路原理

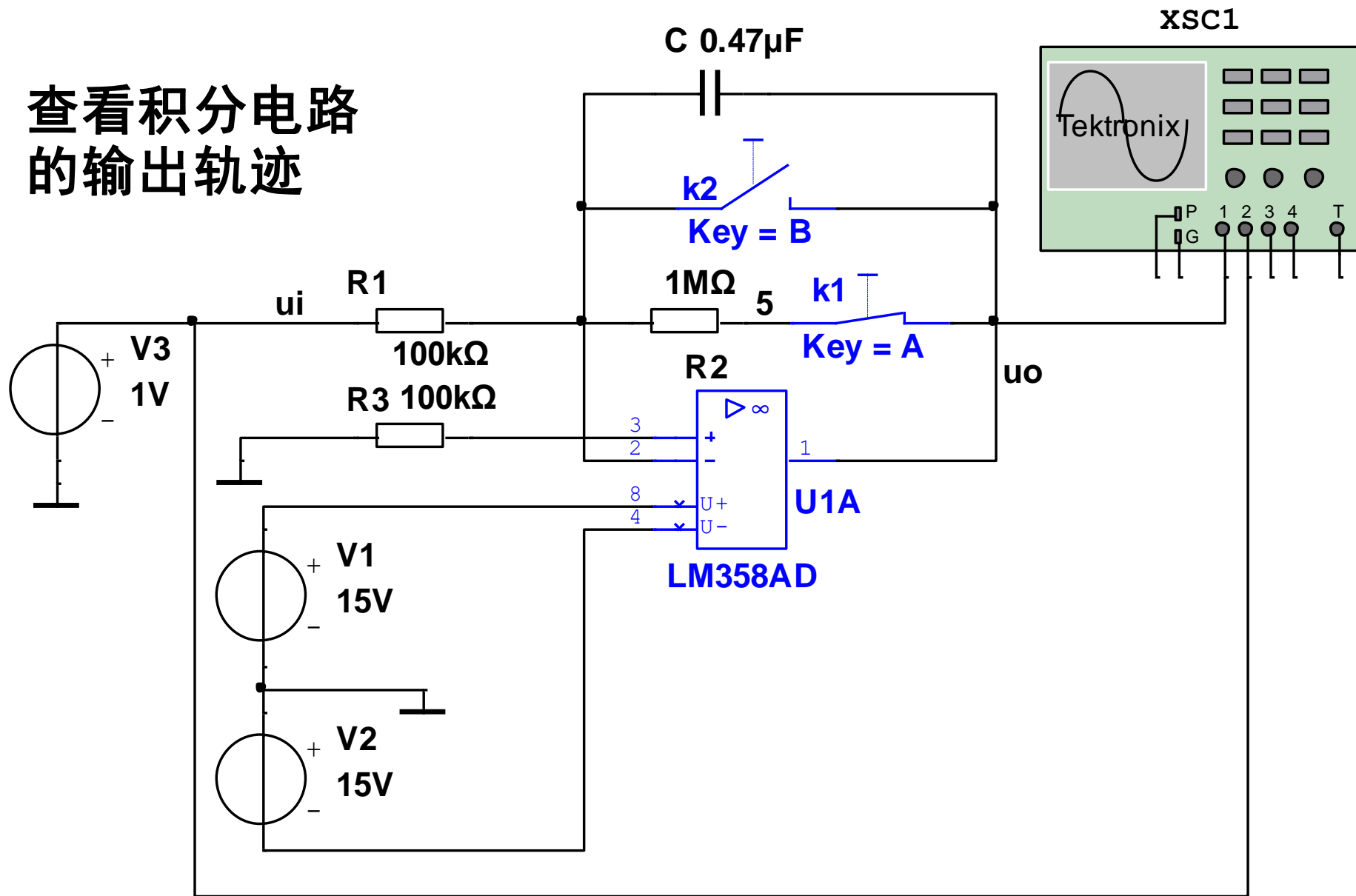
积分电路如前图所示，在进行积分运算之前，将图中 $K_1$ 闭合，通过电阻 $R_2$ 的负反馈作用，进行运放零输出检查，在完成零输出检查后，须将 $K_1$ 打开，以免因 $R_2$ 的接入而造成积分误差。

$K_2$ 的设置一方面为积分电容放电提供通路，将其闭合即可实现积分电容初始电压 $V_c(0) = 0$ 。另一方面，可控制积分起始点，即在加入信号 $V_s$ 后，只要 $K_2$ 一打开，电容就将被恒流充电，电路也就开始进行积分运算。

## 实验步骤与结果记录

- 1) 接入电阻 $R_2$ ，检查零输入时电路零输出。
- 2) 断开 $R_2$ ，加入**1V直流**输入（**15V**通过电位器分压）；合上 $K_2$ ，将电容 $C$ 放电。
- 3) 将示波器按钮置于适当位置：
  - ① Y轴输入耦合选用“**DC**”；
  - ② 将光迹移至屏幕**上方**；
  - ③ **X轴扫描速率足够大**；
  - ④ 触发方式采用“边沿、自动”。
- 4) 最后将 $K_2$ 打开，即可看到光点随时间的移动轨迹。
- 5) 画图记录光点随时间的移动轨迹。

# 查看积分电路 的输出轨迹

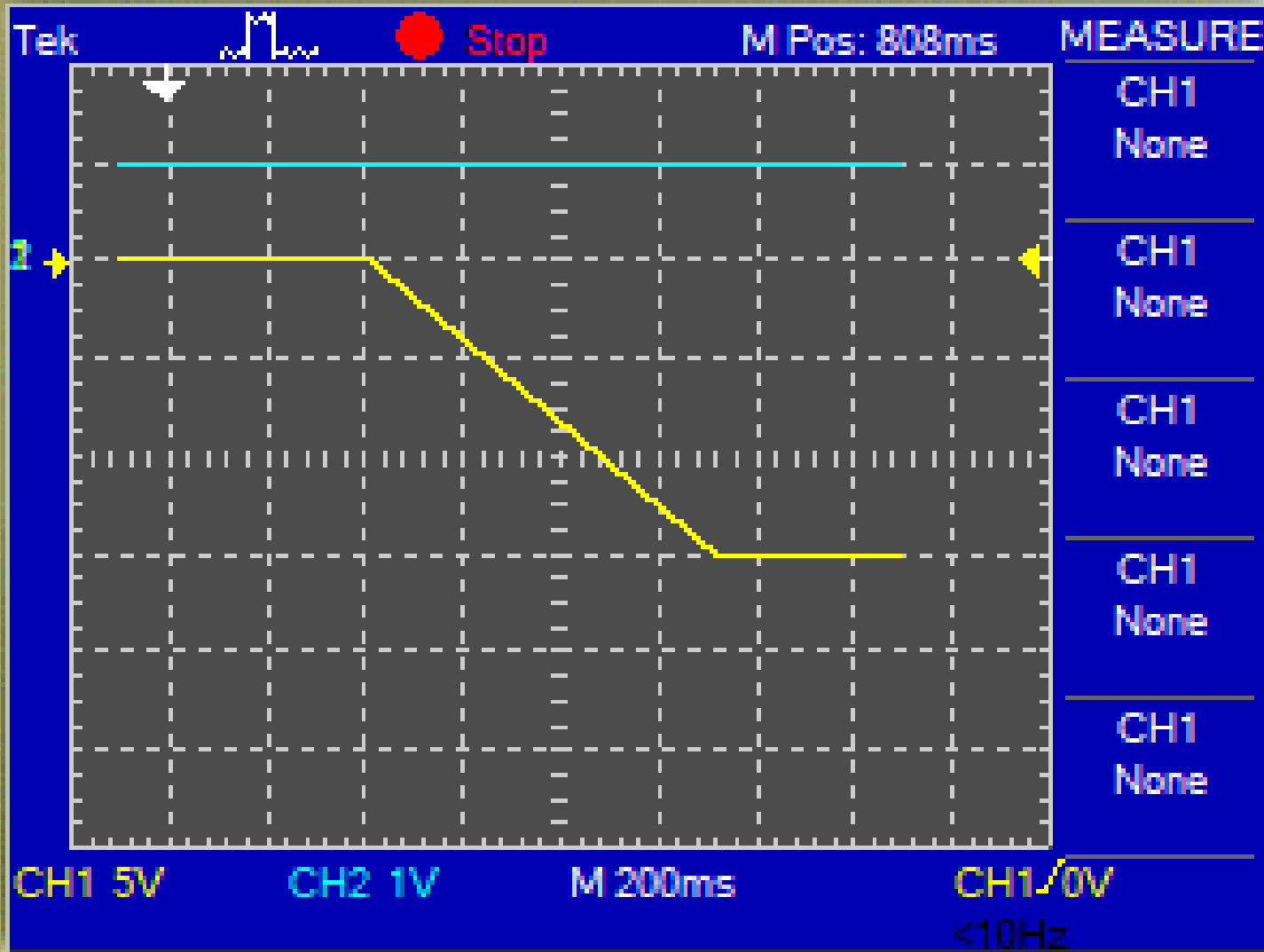


Tek ● Stop M Pos: 808ms

MEASURE

CH1	None
CH1	None
CH1	None
CH1	None
CH1	None

CH1 5V CH2 1V M 200ms CH1/0V <10Hz





# 实验报告

## 1、P323-324—五、实验报告

2、画出各实验线路图，整理实验数据及结果，总结集成运算放大电路的各种运算功能。

## 3、思考题

- (1) 什么是集成运算放大器的电压传输特性曲线？输入方式的改变将如何影响电压传输特性曲线？
- (2) 集成运算放大器的输入输出成线性关系，输出电压将会无限增大，这话对吗？为什么？
- (3) 实验中信号的频率不一样是否对实验的结果有影响？
- (4) 基本运算电路，没有输出信号，输出端电压接近饱和，为什么？怎样处理？

# 实验报告

- (4) 在积分运算电路中，当选择  $V_s = 0.2V$  时，若用示波器观察  $V_o$  的变化轨迹，并假定扫速开关置于 “ $1s/div$ ”，Y轴灵敏度开关置于 “ $2V/div$ ”，光点一开始位于屏幕左上角，当开关  $S_2$  由闭合转为打开后，电容即被充电。试分析并画出  $V_o$  随时间变化的轨迹。若采用电解电容时，电解电容的正负极该如何接？
- (5) 为防止出现自激振荡和饱和失真，应用什么仪器监视输出电压波形。
- (6) 在基本运算电路中，当输入信号为正弦波、方波或直流信号等不同形式时，应分别选择什么仪器来测量其幅度
- (7) 实验中，若测得运放静态输出电压为  $+14V$ （或不为0），其根本原因是什么？应如何进一步调试

线上完成仿真，线下课前仿真+实物实验。

下次预习：共射放大电路实验

下周上课的时候带10元零钱，做领用烙铁的押金。